心理科学进展　2021, Vol. 29, No. 4, 665–676
Advances in Psychological Science

https://dx.doi.org/10.3724/SP.J.1042.2021.00665

抑制引起的遗忘及其神经机制*

关旭旭　王红波
(河南大学认知、脑与健康研究所; 河南大学心理与行为研究所; 河南大学教育科学学院, 开封 475004)

摘　要　当面对不愉快的提醒时, 人们通常会试图阻止那些不想要的记忆出现在脑海中。先前的研究表明, 抑制不想要的记忆的检索会降低这些记忆的可及性, 引起遗忘, 这一效应称为抑制引起的遗忘(suppression-induced forgetting, SIF)。SIF 的神经机制涉及右背外侧前额叶皮层和额中回的激活增加, 以及海马的激活受到抑制。SIF 的程度受记忆材料的情绪效价、个体的病理性情绪状态和训练的影响。未来研究应在深入了解 SIF 神经机制的基础上, 考虑如何提高临床病理性记忆的 SIF 效果, 以达到治疗目的。

关键词　抑制引起的遗忘, 情绪效价, 情绪状态, 训练
分类号　B845

1　引言

回忆过去并不总是愉快的, 生活中许多不愉快的记忆可能会导致高度的情绪痛苦, 如回忆起创伤经历, 一个引起窘迫或损伤自我形象的情景。许多情绪障碍与侵入性的负面想法和记忆有关, 这些想法和记忆又会削弱个体暴露于应激源后调节负面情绪的能力(LeMoult et al., 2010)。如抑郁症和创伤后应激障碍(posttraumatic stress disorder, PTSD)都与侵入性的、难以控制的负性记忆有关(Nolen-Hoeksema et al., 2008)。因此, 遗忘负性记忆对于维持心理健康有重要意义。然而, 由于环境中有许多与创伤场景相似的提示物, 会引发侵入性回忆, 所以对创伤事件的遗忘非常困难。越来越多证据表明, 人们能够抑制不想要的记忆的检索, 以减少对该记忆内容的回忆, 这一过程被称为检索抑制(Anderson & Huddleston, 2012; Gagnepain et al., 2014)。检索抑制会降低不想要记忆的可及性, 引发遗忘, 这一现象被称为抑制引起的遗忘(suppression-induced forgetting, SIF) (Benoit et al., 2015; Streb et al., 2016)。检索抑制是由抑制控制机制介导的, 它提供了一个非常有用的, 用于了解人们如何抑制生活中不想要的记忆和想法的认知模型(Benoit et al., 2019; Haghighi et al., 2020)。另外, 有研究发现, 抑制情景检索可降低被抑制的内容对概念、情感和知觉的间接影响, 这可能会有益于心理健康(Wang et al., 2019)。

实验室研究检索抑制时通常采用 Anderson 和 Green (2001)设计的想/不想(think/no-think, TNT)范式, 该范式以 go/no-go 范式为基础, 包含三个阶段: 学习阶段、TNT 阶段和测试阶段, 并且将要学习的配对分为 think 条件、no-think 条件和基线条件。在学习阶段要求被试学习所有词语配对(如: 考验−蟑螂), 直到他们可以根据线索词(考验)回忆起目标词(蟑螂)。随后的 TNT 阶段中反复呈现学习过的线索词, 并要求被试想起目标词(think 条件), 或不要去想目标词(no-think 条件)。研究证实, 被试在 no-think 条件下能够使用控制机制来抑制不去回忆目标词, 在随后的测试阶段中与基线条件相比, no-think 条件下目标词的回忆会更加困难(Anderson & Green, 2001; Liu et al., 2016; Taubenfeld et al., 2019; van Schie & Anderson, 2017), 即出现 SIF 现象(Anderson & Green, 2001; Anderson. et al., 2004; Hertel et al., 2012; Levy & Anderson, 2008; Molet et al., 2016; Streb et al., 2016; van Schie & Anderson, 2017; Wang et al., 2019)。研究者在不同情绪效价、不同

收稿日期: 2020-05-06
* 教育部人文社会科学研究项目(20YJC190019)资助。
通信作者: 王红波, E-mail: fightingwhb@vip.163.com

类型的刺激材料包括词语、物体、场景和自传体记忆中都发现了 SIF 效应(Catarino et al., 2015; Gagnepain et al., 2014; Küpper et al., 2014; Wang et al., 2019)。近年来, 使用 TNT 范式研究有意遗忘的机制主要集中在三个领域：其一, 使用更具体的刺激材料来改进任务效果(López-Caneda et al., 2019); 其二, 结合行为层面研究检索抑制的大脑机制(Depue et al., 2007; Dieler et al., 2010; Hulbert et al., 2016); 其三, 以情绪障碍患者为对象, 研究其SIF效应与健康人的差异(Sacchet et al., 2017; Sullivan et al., 2019)。

由于成功抑制负性记忆的侵入可以调节人们对侵入性记忆的情绪反应, 如恐惧反应降低(Legrand. et al., 2019)、情绪体验减少(Gagnepain et al., 2017)及对未来的恐惧减轻(Benoit et al., 2016)。因此, 研究 SIF 对减轻侵入性记忆带来的痛苦具有重要意义。本文对 SIF 的相关研究成果进行梳理和分析, 总结出 SIF 的神经机制主要涉及右背外侧前额叶皮层和额中回的激活增加以及它们抑制性调节海马的激活, 并且在抑制情绪消极的材料时前额叶下调杏仁核的活动。SIF 的程度受记忆材料的情绪效价、个体的病理性情绪状态和训练的影响。在此基础上, 本文针对目前某些 SIF 的研究结果存在不一致的现象, 分析和总结其原因, 并对未来研究方向进行展望。

2 SIF 的影响因素及其神经机制

侵入性记忆通常以令人痛苦的图像形式出现在人的意识中。了解人们控制这些侵入性记忆的神经机制, 减少其产生的不良情绪具有重要意义。综合前人的研究发现, 目前主要关注记忆材料的情绪效价、个体的病理性情绪状态和训练对 SIF 效应的影响及其神经机制, 以下将逐一论述。

2.1 记忆材料的情绪效价对 SIF 的影响及其神经机制

早期研究 SIF 多使用中性材料, 但现实情境中被回避的想法很可能是负性情绪性记忆, 而不是典型的 TNT 研究中使用的中性词对。情绪信息会自动地引起注意(Blaney, 1986), 促进编码和检索(Canli et al., 2001)。因此, 情绪材料的记忆表征比非情绪材料的更强。近年来 TNT 范式的应用已经扩展到研究不同刺激材料可能存在的差异, 其中包括消极的情绪刺激。目前各研究使用情绪性词语和图片等材料来考察 SIF 效应, 但结果并不一致。有些研究发现, 负性情绪信息的 SIF 效应强于中性信息(Depue et al., 2006; Lambert et al., 2010; Wessel & Merckelbach, 2006), 原因可能是对情感信息的认知控制比对中性信息的控制更强(Storbeck, 2013)。有些研究发现与中性信息相比, 消极情绪信息的抑制更困难(Chen et al., 2012), 可能是由于消极情绪信息是显著的, 侵入性更强(Ritchey et al., 2019), 因此更难抑制。也有研究发现, 消极和中性材料的 SIF 效应没有差异(Benoit et al., 2016; Gagnepain et al., 2017; Murray et al., 2015), 可能是因为在学习阶段就匹配了中性和负性材料的联想学习, 消除了情绪材料编码的差异性, 进而没有体现出情绪材料的抑制效应(Gagnepain et al., 2017)。但这并不能解释各研究显示情绪材料的 SIF 效应不一致的现象, 因为几乎所有研究都在学习阶段对情绪效价进行了分类。产生不一致的结果可能是情感体验存在很大的个体差异。虽然预先控制了材料的情绪效价和唤醒度, 但大多实验开始前并没有让被试评估材料的情绪效价和唤醒度。另外, 这些实验所使用的情绪材料不同, 情绪性的词语、面孔、场景所带来的情绪体验和唤起程度是不同的, 且不同类型的材料激活的脑区也有差异。

2.1.1 非情绪记忆 SIF 的神经机制

研究者们在使用非情绪性材料研究 SIF 时, 关注普遍的记忆控制机制。研究者认为, 由抑制引起的遗忘可能有两种方式：直接抑制检索过程后的遗忘和转移注意力(如思维代替)引起的遗忘(Benoit & Anderson, 2012; Küpper et al., 2014; van Schie & Anderson, 2017)。不过在 TNT 任务结束后使用问卷法调查被试对指导语的依从程度, 研究者发现几乎所有被试都报告经常使用与指导语一致的抑制策略, 故研究者认为使用直接的抑制策略可以引发遗忘效应(van Schie & Anderson, 2017)。此外, 有关检索抑制的神经成像研究也为直接抑制检索后的遗忘提供了证据。研究发现, 在 TNT 任务中, 被试使用思维代替策略时尾部前额叶皮层(caudal prefrontal cortex, cPFC)和左侧正中腹外侧前额叶皮层(mid-ventrolateral prefrontal cortex, mid-vlPFC)激活增多(Benoit & Anderson, 2012), 且没有出现海马激活的降低(Anderson & Hanslmayr, 2014)。而使用直接的抑制策略时右侧

额中回(middle frontal gyrus, MFG) (Anderson & Hanslmayr, 2014; Depue et al., 2007; Depue et al., 2016)和右背外侧前额叶皮层(dorsolateral prefrontal cortex, dlPFC)的激活增加(Anderson. et al., 2004; Benoit & Anderson, 2012; Benoit et al., 2015; Benoit et al., 2016; Liu et al., 2016; Paz-Alonso et al., 2013; Sacchet et al., 2017; Zhang et al., 2016), 以及海马的活动降低(Anderson & Hanslmayr, 2014; Anderson et al., 2015; Benoit & Anderson, 2012; Gagnepain et al., 2017; Hulbert et al., 2016; Liu et al., 2016)。右侧MFG支持记忆控制过程, 它会减少对记忆的瞬间感知, 并损害其后来的有意识回忆(Gagnepain et al., 2014)。并且, 海马活动的降低来源于右侧 MFG (Anderson & Hanslmayr, 2014)和 dlPFC (Anderson. et al., 2004; Benoit & Anderson, 2012)的抑制调节, 这些区域对海马活动的抑制引起了被抑制的记忆痕迹的遗忘, 减少了其非随意侵入的倾向(Benoit et al., 2015)。此外, Depue 等人(2016)研究发现, 个体在进行抑制调节时主要激活右侧MFG前部, 该区域参与情绪和认知抑制, 以及扣带回在右 MFG 前部‒海马通路中起重要作用(Depue et al., 2016)。在抑制视觉记忆时, 右侧 MFG 还会抑制梭状皮层的神经激活(Depue et al., 2007; Gagnepain et al., 2014)。除了这些脑区外, 内侧颞叶(medial temporal, MTL)的一些区域也受检索抑制的调节(Anderson et al., 2015; Benoit et al., 2015; Gagnepain et al., 2017), 但其调节的幅度取决于被抑制记忆的类型, 如当记忆为场景而不是物体或词语时, 双侧的后嗅皮层和右侧的海马旁回受抑制调节(Benoit et al., 2015)。也有学者使用事件相关电位(event-related potential, ERP)技术研究发现, 有两个 ERP 成分与记忆抑制/促进过程相关。No-think 条件中 N2 波幅升高与抑制过程有关(Bergström et al., 2009; Chen et al., 2012; Zhang et al., 2016), think 条件中更大的顶叶晚期正成分(late positive component, LPC)与记忆促进过程有关(Bergström et al., 2009; Depue et al., 2013; Zhang et al., 2016), LPC 是反映有意识回忆的指标, 它的增强预测成功检索。

2.1.2　负性情绪记忆 SIF 的神经机制

情绪记忆的抑制涉及记忆控制和情感调节系统, 尽管两者的目标不同, 但涉及到相似的大脑区域, 如右侧 MFG (Gagnepain et al., 2017)。由于杏仁核在情绪产生、识别和调节中的重要作用, 调节消极刺激的情绪反应需要右侧 MFG 参与抑制杏仁核的活动(Anderson et al., 2015; Pannu et al., 2010)。Depue 等人(2007)研究证实, 情绪记忆的抑制至少涉及两条通路：第一条通路包括右侧额下回(inferior frontal gyrus, IFG)下调梭状回和丘脑核的激活, 对记忆表征的感觉成分进行认知控制; 第二条通路包括右侧 MFG 下调海马和杏仁核的激活, 对记忆过程和记忆表征的情感成分进行认知控制(Depue et al., 2007)。然而, Butler 和 James (2010)发现, 相比中性刺激, 抑制消极刺激时海马、杏仁核、岛叶、前扣带皮层(anterior cingulate cortex, ACC)和梭状回都表现出更大的激活(Butler & James, 2010)。编码和检索过程中海马的激活表示成功的有意识回忆, 因此抑制过程中海马的激活可能表明个体尽管在努力抑制回忆, 但仍对消极刺激有更强的记忆。ACC 参与冲突和错误探测, 并发出需要更多认知控制的信号(Weiss et al., 2018)。因此, 在抑制消极记忆时, ACC 更大的激活可能意味着由于自动回忆和抑制控制过程之间的冲突而需要更多的抑制控制(Anderson et al., 2015); 也可能是抑制消极记忆时出现较多失败, 导致检测出更大的错误(Butler & James, 2010)。可见 Butler 和 James (2010)发现的抑制消极记忆时更活跃的区域与 Depue 等人(2007)研究中成功抑制情绪记忆时被下调的区域相似, 这进一步表明这些区域对情感记忆有重要作用。而两者研究中海马激活的差异可能与抑制训练的重复次数和训练试次的持续时间的不同有关。考虑到消极记忆可能要比中性记忆在学习阶段编码的更好, 在 Butler 和 James (2010)研究中, 抑制训练试次仅持续 2 秒, 且仅重复 6 次, 均低于 Depue 等人(2007)的研究, 这可能导致消极记忆在抑制阶段不能被很好的抑制, 而抑制重复次数的增加与更多的遗忘(Anderson & Green, 2001)和更低的海马活动有关。

抑制负性记忆也涉及 dlPFC 激活的增加(Dieler et al., 2010; Benoit et al., 2016)。Dieler 等人(2010)使用中性、积极和消极的词语配对研究发现, 在不考虑材料的情绪效价时, 抑制过程引起双侧 dlPFC 和双侧 vlPFC 的激活; 而当考虑材料的情绪效价时, 相比于情感中性和积极的刺激, 抑制消极刺激时仅在右侧 dlPFC 和 vlPFC 有更大的激

活(Dieler et al., 2010)。右侧 dlPFC 和 vlPFC 反映了抑制控制和情绪调节的功能(Aron et al., 2014; Depue et al., 2016)。因此, 在抑制消极刺激时更大的激活可能表明了需要更多的皮层控制去有意的抑制负性效价和高唤醒度的材料; 也可能是由于消极刺激额外激活了杏仁核, 因而需要更大的激活去处理额外的皮层下结构干扰。另外, ERP 研究发现, no-think 条件中, 相比于中性材料, 负性材料激起更小的晚期负成分(later negativity, LN)和更大的晚期顶叶正成分(late parietal positivity, LPP), think 条件中没有这种差异(Chen et al., 2012)。LN 和 LPP 主要出现在右侧 MFG 和右侧额上回, LPP 反映情感记忆效果, 与有意回忆有关。

综上, 虽然研究者在不同材料类型中都发现了 SIF 效应, 但有关情绪材料 SIF 效应的行为结果和神经机制的研究结论尚不一致。目前研究一致认为抑制中性和负性刺激时都涉及右侧 MFG (Gagnepain et al., 2017)和 dlPFC 的激活增加, 以及在抑制消极刺激时右侧 dlPFC 和 vlPFC 都有更大的激活(Dieler et al., 2010)。这表明检索抑制过程中前额叶的活动是右侧化的, 与右脑额叶损伤导致有意遗忘受损的证据相吻合(Jin & Maren, 2015)。而在抑制消极刺激时, 有关海马、杏仁核的激活特点尚未有一致的结论。这可能是因为不同类型情绪材料的激活程度不同, 非单调可塑性假说认为 no-think 条件中适度激活的记忆才可能被遗忘(Detre et al., 2013), 以及抑制不同类型的记忆时, 受前额叶抑制性调节的区域也不同(Benoit et al., 2015)。

2.2 个体病理性情绪状态对 SIF 的影响及其神经机制

不管是临床上还是现实生活中都有很多人处于抑郁、焦虑状态, 甚至经历着创伤记忆的不断侵入, 造成持续的痛苦。尤其病理性创伤记忆是 PTSD 的基础, 会重复地侵入患者的意识, 让患者出现创伤再体验症状(Sullivan et al., 2019; van Rooij & Jovanovic, 2019)。抑郁症患者的典型症状包括选择性的关注情感消极的材料, 很难抑制对消极事件的回忆, 因而长期沉溺于消极情绪中无法自拔(Sacchet et al., 2017)。抑制创伤记忆的检索, 引发遗忘, 可能对于临床治疗 PTSD 和抑郁症有重要意义。因此, 研究抑郁症、PTSD 患者负性记忆 SIF 效应的特点, 了解其神经机制对于临床治疗这类与负性记忆相关的症状有重要意义。

许多研究范式中都发现 PTSD 患者的抑制控制缺陷, 如运动反应抑制任务(Falconer et al., 2013), 定向遗忘任务和思维抑制范式(Catarino et al., 2015; Fawcett et al., 2015; Hayes et al., 2012; Zwissler et al., 2012)。而目前关于 PTSD 患者 SIF 效应的研究结果尚不一致, 有些研究发现, 在一段时间的抑制训练后, 相比于基线条件却回忆起更多的创伤记忆, 这被称为反弹效应(Catarino et al., 2015; Mary et al., 2020; Shipherd & Beck, 2005)。如 Catarino 等人(2015)以对象−消极场景配对为材料, 发现相比于有创伤经历的健康对照组, PTSD 患者的检索抑制能力明显减弱, 且 SIF 效应的缺陷与 PTSD 症状严重程度呈正相关。这与临床上 PTSD 症状更严重的患者通常表现出记忆更频繁的侵入这一现象相一致(Ehlers, 2010)。也有研究发现, PTSD 组、有创伤经历但未患 PTSD 组、无创伤经历且无 PTSD 组的 SIF 没有显著差异, 但有创伤经历的个体(无论有没有患 PTSD)成功抑制的人数占比更小(Sullivan et al., 2019)。两个研究结果的差异可能是由于方法学上的差异, Catarino 等人(2015)使用的线索对象与配对场景中的某个细节相似, 增加了个体根据熟悉程度记忆物品的可能性, 而 Sullivan 等人(2019)使用的线索对象与配对场景不相关, 需要被试产生新的情景联想, 这表明抑制与情境相关的、熟悉的物品的能力, 可能是阻止创伤记忆侵入意识的关键(Sullivan et al., 2019)。总的来说, 这些结果表明检索抑制在创伤后情绪调节中起重要作用: 创伤记忆越能有效地被抑制, 不愉快的情绪就越少出现(Anderson. et al., 2004; Anderson & Huddleston, 2012; Streb et al., 2016)。

前文已提及前额叶在 SIF 中起重要作用, 而 PTSD 患者的前额叶皮层的结构和功能受到损伤(Fani et al., 2012; Terpou et al., 2019)。相比于健康个体, PTSD 患者前额叶皮层、海马和杏仁核的体积减小(Pitman et al., 2012)。PTSD 的神经回路模型提示与认知控制有关的前额叶区域包括 dlPFC、vmPFC、和 ACC 活动都减少, 导致无法调节情感区域(杏仁核), 从而引起过度的恐惧反应(Hayes et al., 2012), 无法在线索不再关联创伤的情况下, 自适应地消退条件性情绪反应(Pitman et al.,

2012)。这也提示 PTSD 患者的 dlPFC 对海马的抑制性调节可能出现困难, 从而导致持续的再体验症状(Catarino et al., 2015), Mary 等人(2020)研究结果支持这一观点。另外, Sullivan 等人(2019)研究发现 PTSD 患者的抑制能力受损可能与右侧 MFG 激活困难有关, no-think 条件下, PTSD 患者右侧 MFG 的激活显著低于健康对照组(Sullivan et al., 2019)。PTSD 患者这些神经机制的受损, 不仅会使抑制无效, 还可能会使侵入性记忆得到增强, 增加症状的严重程度和持久性(Brewin, 2011)。许多证据表明 PTSD 是一种脑环路失常的疾病, 而非单一脑区功能异常(Terpou et al., 2019), 且不同症状的神经环路机制可能截然不同。PTSD 再体验症状与 ACC 及 IFG 活性降低, 岛叶功能增强有关(Lanius et al., 2010), 对创伤相关线索回避的症状与大脑扣带回、IFG 功能降低以及颞上皮质(superior temporal cortex)功能激活有关(Boeke et al., 2017), 而解离性遗忘症状与 mPFC、ACC、额下回、颞上回和颞中回、枕叶和顶叶更多的激活有关(van Huijstee & Vermetten, 2018)。由此可见, 有关 PTSD 患者认知控制、检索抑制等的研究必须结合症状本身。另外, 条件性恐惧的研究显示, PTSD 患者的消退能力受损, 并且 vmPFC 的体积、功能以及左侧 vmPFC 与杏仁核之间功能连接改变与之有关, 创伤线索的重现不会引起消退, 反而引发再巩固(Kaczkurkin et al., 2017)。据此, PTSD 患者的 SIF 能力受损也可能是因为 TNT 阶段线索的出现引发了记忆的再巩固。

目前为止, 相比于健康个体, 抑郁个体对消极记忆的 SIF 效果也尚无定论。有研究发现抑郁个体表现出更多的 SIF (Joormann et al., 2005), 也有研究发现更少或同等程度的 SIF (Hertel & Mahan, 2008; Joormann et al., 2009; Sacchet et al., 2017; Zhang et al., 2016)。Sacchet 等 (2017)的研究中, TNT 任务的行为数据没有显示出抑郁个体与健康个体、中性与消极材料遗忘效应的不同, 但 fMRI 结果显示出组间差异, 无论是中性还是负性材料, 相比于健康对照组, 抑郁组进行抑制活动时右 MFG 激活更多, 并且在考虑到被抑制材料的效价时, 两组被试杏仁核和海马的激活程度不同, 主要表现在位于左右半球、横跨杏仁核和海马前部的簇状结构上, 相对于负性项目, 抑郁组在抑制中性项目时这一区域的活动减少, 而健康对照组在抑制负性项目时这一区域的活动显著降低(Sacchet et al., 2017)。据此, 研究者认为抑郁个体 SIF 效应表现出差异性结果的原因可能是抑郁症患者需要在相同的神经网络中进行更大的激活, 使得他们能够在特定的任务中(如工作记忆任务)保持与健康对照组相似水平的表现(Harvey et al., 2005)。Zhang 等人(2016)研究发现, 在 no-think 条件中, 与对照组相比, 抑郁组在抑制消极图片时 N2 的波幅更小, 说明他们未能成功的抑制对消极记忆的检索。

总之, 目前 PTSD、抑郁症患者检索抑制的行为结果和神经机制尚缺乏一致的结论。产生不一致结论的一个重要原因可能是精神疾病的异质性。同样被诊断为 PTSD 和抑郁症的个体, 会有不同的症状, 症状背后的神经机制也不同(Drysdale et al., 2017; Zandvakili et al., 2020)。因此, Catarino 等人(2015)和 Sullivan 等人(2019)关于 PTSD 患者 SIF 能力得出差异性结果的原因还可能是两组 PTSD 患者症状严重程度、症状类型和创伤事件类型的差异所致。研究抑郁个体的 SIF 时, Sacchet 等 (2017)选取符合 DSM-IV, 被诊断为重度抑郁症的患者, 而 Zhang 等人(2016)使用贝克抑郁量表和状态-特质焦虑量表选取高焦虑的抑郁倾向者。虽然当前对 PTSD、抑郁症患者检索抑制能力的研究受到了学者的关注, 但对这类群体的行为研究结果存在不一致的情况, 且他们 SIF 的神经机制有待进一步了解。未来研究可以将 PTSD 和抑郁症患者区分为不同的亚型, 在相同亚型、相同症状的群体中做检测, 在制定更完善的实验计划、排除先前研究存在的局限性的基础上, 深入研究 PTSD、抑郁症患者检索抑制的神经机制, 以便在实际应用中更有效地改善抑制效果。

2.3 训练对 SIF 的影响及其神经机制

检索抑制的缺陷有助于抑郁症和 PTSD 的发展(Catarino et al., 2015; Marzi et al., 2014; Streb et al., 2016; Sacchet et al., 2017; Wong & Moulds, 2011)。那些有抑郁症、PTSD 等精神疾病的患者可能不能有效的使用 SIF 去减轻症状, 这提示我们 SIF 在应用方面存在局限性。但相关研究发现, 类似从其它实践中受益的认知技能一样, 记忆控制也同样受训练的影响(Hulbert & Anderson, 2018)。抑制控制能力的训练有助于使这一能力正常化, 并塑造其所在的脑神经网络(Draganski et

al., 2014; Lawrence et al., 2015)。抑制控制能力的提升可能来自于自动化形成的抑制和自上而下的抑制控制(Lawrence et al., 2015)。研究者认为抑制能力与创伤经历有关，有更多创伤经历的人抑制能力也更高(Levy & Anderson, 2008; Hulbert & Anderson, 2018)。以下几个证据支持这种观点：首先，适度的创伤可能是有益的这种观点得到了纵向研究的支持，与经历过多逆境和从未经历逆境的人相比，经历适度逆境的个体在以后的生活中展现出更好的心理健康和心理弹性(Seery et al., 2010)。在现实生活中有更多抑制回忆经历的人会对不想要的记忆表现出更好的抑制(Hulbert & Anderson, 2018)。其次，经验依赖皮质可塑性的证据表明，认知训练可以引起持久的结构改变(May, 2011; Draganski et al., 2014)。Lyoo 等人(2011)研究发现，火灾幸存者在一年后，外侧前额叶皮层厚度有选择性地增加(Lyoo et al., 2011)，且皮层厚度增加的区域与参与检索抑制的区域大体一致，这预测了 PTSD 症状的减轻(Anderson & Hanslmayr, 2014)。有证据表明，海马的下调随着检索抑制的练习而增长，这种增长反映了对侵入性记忆的抑制性调整(Depue et al., 2006; Depue et al., 2007; Butler & James, 2010)。Depue 等人(2007)发现在 TNT 阶段，海马的记忆活动是逐步调节的，虽然最初的阻滞表现为抑制相关的海马激活高于基线，但随着练习的增加，海马活动逐渐降低至基线以下。他们认为，练习可能会引起基于检索抑制网络的质变(Depue et al., 2007)。另外，Benoit 等人(2015)发现不想要的记忆初次侵入意识，需要清除时，dlPFC 激活达到最大，海马的活动降低。经过反复的抑制练习，随着被试更好地控制侵入性记忆，清除非随意侵入的需求降低，dlPFC-海马负耦合的连接逐渐减弱(Benoit et al., 2015)。这表明练习可能使人们的检索抑制神经系统更有效地参与抑制，暗示训练干预在记忆控制方面的可行性(Anderson & Huddleston, 2012)。

3 总结与展望

综上所述，自 Anderson 和 Green (2001)发展出 TNT 范式以来，研究者们应用此范式从情绪、疾病和训练等方面深入研究 SIF，得出了丰富的结果。尽管如此，由于 SIF 能力的不足可能是导致 PTSD 和抑郁症的重要原因，相关研究仍备受关注。近年来，随着认知神经科学技术的发展与成熟，有关 SIF 的研究取得了很大的突破和进展，对 PTSD、抑郁症等的治疗有启示作用。而对于目前研究中的不足，未来研究至少可以从以下几个方面展开:

3.1 提高研究的生态效度

从研究材料上来说，实验室研究为控制学习水平采用的刺激都是关联程度很弱的词语、物体、场景配对等，而现实生活中，引起人们回忆起不愉快记忆的线索通常和记忆事件是情景相关的，而且由于创伤记忆形成过程中事件和环境之间的紧密联系，使得创伤相关的线索也具备了情绪效果，不再是完全中性的。而实验室研究情绪性记忆的 SIF 效应普遍使用中性线索匹配情绪性材料，很少有研究在学习阶段甚至是检索抑制阶段之后评估线索的情绪效价，可以认为当前有关 TNT 范式的研究更侧重于线索−目标之间的记忆连接，而忽略了情感连接。Molet 等人(2016)证实线索和目标之间存在情感学习，当面孔(线索)与亲社会或反社会的句子(目标)配对出现时，面孔也获得了相应的积极或消极效价, no-think 条件下个体在遗忘目标句子的同时降低了面孔的情绪效价(Molet et al., 2016)，这为检索抑制可以降低线索−目标之间的情感连接提供了证据。此外，相同背景对于记忆保持起重要作用(Preusser et al., 2017)。那么背景相关材料或情绪性线索会如何影响 SIF？未来研究也可以关注在线索和目标之间存在情感学习的情况下，检索抑制会如何影响线索的效价和目标记忆的回忆以及其作用机制。也可以思考在情景记忆受损的情况下，与不想要记忆相关的情绪信息是否会被保留下来，会不会进一步对行为产生影响。

从个体状态上来说，当前研究已经开始关注抑郁症、PTSD 等处于病理性情绪状态下个体的 SIF 效应，但仍有不足。现实中人们会经历各种各样的应激性事件，如亲人死亡、事业挫折、破产、考试失败等。因为应激激素的促进，不愉快记忆往往强烈深刻，且应激激素会损害检索抑制的脑区的功能。在创伤事件的编码过程中，高水平的应激是导致那些记忆过程的主要因素。应激相关的激素可以调节对情绪材料的记忆，使得它们比中性材料更容易被记住。内源性和外源性的皮质醇和去甲肾上腺素在情绪刺激的编码和巩固过程

中导致记忆增强(Cheung et al., 2015; Wimber et al., 2015)。相反，高水平的循环应激激素会损害记忆检索的表现(Wimber et al., 2015)。有研究探讨创伤电影记忆恢复过程中应激对随后的侵入性记忆的影响，发现应激和记忆激活共同作用可以增强侵入性记忆(Cheung et al., 2015)。目前尚不清楚应激会如何影响检索抑制。未来研究可以深入探讨应激是促进还是损伤了检索抑制；应激对情绪性记忆 SIF 的影响及其起作用的神经机制。

3.2　结合检索抑制的认知神经机制和个体差异提高抑制效果

鉴于抑郁症和 PTSD 等饱受痛苦记忆的折磨，未来研究应体现 SIF 对厌恶记忆的应用性和对这类人群的价值。而抑郁症和 PTSD 患者检索抑制效果差通常与右侧 MFG 和 dlPFC 激活困难有关。研究证实，重复经颅磁刺激(repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS)可以改善抑郁症、PTSD 患者的认知功能(Namgung et al., 2019; Tateishi et al., 2019)。且右侧 dlPFC 刺激可以有效改善 PTSD 的核心症状，其机制可能是 rTMS 能上调前额叶及海马区域的兴奋性，改善相应区域的脑功能(Namgung et al., 2019)。未来或可在检索抑制时使用 rTMS 加强 dlPFC 和 MFG 的活动以促进 SIF。这种方法能否改善抑郁症和 PTSD 患者 SIF 效果有待考究。一方面，抑郁症和 PTSD 患者脑区受损的程度不同, PTSD 患者涉及检索抑制的脑区的结构和功能损伤更严重。另一方面，二者的病症来源、具体症状表现有很大的差异, PTSD 患者的病症更强烈、更具爆发性和冲动性。这会导致二者 SIF 能力的差异。因此，使用 rTMS 加强 dlPFC 和 MFG 的活动，可能对提高抑郁个体的抑制能力更有效。另外，抑郁症患者 SIF 能力的差异也可能受生物遗传、思维图式等因素的影响，未来研究可以考察这些因素的影响，以期对抑郁症患者的 SIF 有更深入的了解，优化临床治疗。

再者 PTSD 是一种延迟性、持续性的心身疾病，个体经历创伤后不是立马就患 PTSD。如果个体在经历创伤后的早期学会主动抑制，引发遗忘，是否会阻止 PTSD 的发展？未来可对此进行研究。值得注意的是，检索抑制的效果是时间依赖的。有研究显示，当 no-think 试次持续时间较长时，SIF 效应会降低(van Schie & Anderson, 2017)，以及检索抑制虽然在短期内可以有效地减少消极想法，但其长期效果不佳(Davidson et al., 2019; Geraerts et al., 2006)。另外，弗洛伊德的观点认为，压抑阻止了心理内容进入意识的联想区域，阻止了该内容的消退和修正过程，被压抑的心理内容仍具有较强的影响力；压抑会阻止情绪适当的释放，没有及时释放的情绪会以各种病态的方式表现出来。以及在某些情况下，想法抑制(thought suppression)会加剧侵入性记忆的发展。与健康个体相比，精神疾病患者在试图抑制时更有可能出现反弹效应(Magee et al., 2012)。白熊抑制假说也认为，越压抑一个记忆反而会记的更清楚(Wang et al., 2019)。但想法抑制与 SIF 采用的检索抑制策略有区别。其中一个关键区别是，前者明确地提及一个特定的被禁止的想法(如白熊)，而这个想法正是要执行的任务的目标(不要想白熊)，所以仅仅记住任务所陈述的内容就必然会违反任务目标。因此，想法抑制不能成功。而后者只是要求参与者阻止线索伴随的记忆进入意识，并没有提及那个记忆是什么，是可以抑制成功(Anderson & Huddleston, 2012; Wang et al., 2019)。不过，考虑到 PTSD 患者抑制控制能力的缺损和 SIF 效应的一些局限性，临床上采用这种检索抑制方法治疗 PTSD 时仍需慎重。目前在临床实践中，更常采用的是基于消退原理的认知行为疗法，它鼓励患者直面创伤记忆的有关线索，使患者意识到这个线索不再预示着创伤性事件的发生，从而对此线索不再有强烈的情绪反应(Kar, 2011)。一个有意思的假设认为，认知行为疗法是有效的，一定程度上可能是因为患者面对提示物并改变已有的想法是依赖于抑制过程(Catarino et al., 2015)。如果是这样的话，或许可以通过训练提高 PTSD 患者的记忆控制能力来增进行为疗法的效果，未来可对此进行探索。

根据前文的叙述我们了解到，适当的训练可以提高个体管理侵入性记忆的能力，适度的逆境可以培养日后的适应力。这提示训练干预在抑制控制方面的可行性，未来研究可以思考提高 SIF 能力的更有效的训练方法。研究发现，正念(mindfulness)训练不仅与提高工作记忆能力、改善执行功能、持续注意和选择性注意能力有关，而且对情绪和情感过程、情绪调节、消除思维和记忆中的消极偏见有积极作用(Brisbon & Lachman, 2017)。正念技术被认为可以调节操作和监控系统

的认知资源，通过减轻由于抗拒遗忘产生的紧张感，帮助注意资源离开不想要的项目重新分配从而实现遗忘促进(Gamboa et al., 2019)。Gamboa 等人(2019)在定向遗忘范式之前进行正念训练，并要求被试使用正念策略记忆或遗忘目标项目，最终没有发现正念策略对遗忘的促进作用。而定向遗忘范式与TNT范式的区别在于前者的遗忘发生在编码过程而后者发生在检索过程。有研究者认为，正念训练只对记忆检索过程有影响(Crawley, 2015)。因此，未来研究应考虑使用基于正念的遗忘策略是否能提高 SIF 的效果，那些长期进行正念训练(如冥想)的个体与从未进行过训练的个体相比是否检索抑制能力更高。

综上，目前关于如何提高 SIF 能力的研究还较少。未来研究可进一步关注这类问题，使得 SIF 能有更好的应用效果。此外，在神经技术手段上，未来或可结合 fMRI、ERP 等技术多层面地去探索 SIF 的各脑网络的联系，深入研究抑制不同类型记忆时起作用的脑区激活的差异以及随着抑制训练的进行各相关脑区的变化模式。另外，也可以考虑使用 rTMS 改善相应脑区的功能是否能改善 SIF 的效果，更好的阐释当前研究的不足。

参考文献

Anderson, M. C., Bunce, J. G., & Barbas, H. (2015). Prefrontal-hippocampal pathways underlying inhibitory control over memory. *Neurobiology of Learning and Memory, 134*, 145–161.

Anderson, M. C., & Green, C. (2001). Suppressing unwanted memories by executive control. *Nature, 410*(6826), 366–369.

Anderson, M. C., & Hanslmayr, S. (2014). Neural mechanisms of motivated forgetting. *Trends in Cognitive Sciences, 18*(6), 279–292.

Anderson, M. C., & Huddleston, E. (2012). Towards a cognitive and neurobiological model of motivated forgetting. *Nebraska Symposium on Motivation, 58*, 53–120.

Anderson., M. C., Ochsner., K. N., Kuhl., B., Cooper., J., Robertson., E., Gabrieli., S. W., ... Gabrieli., J. D. E. (2004). Neural systems underlying the suppression of unwanted memories. *Science, 303* (5655), 232–235.

Aron, A. R., Robbins, T. W., & Poldrack, R. A. (2014). Inhibition and the right inferior frontal cortex: One decade on. *Trends in Cognitive Sciences, 18*(4), 177–185.

Benoit, R. G., & Anderson, M. C. (2012). Opposing mechanisms support the voluntary forgetting of unwanted memories. *Neuron, 76*(2), 450–460.

Benoit, R. G., Davies, D. J., & Anderson, M. C. (2016). Reducing future fears by suppressing the brain mechanisms underlying episodic simulation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 113*(52), E8492–E8501.

Benoit, R. G., Hulbert, J. C., Huddleston, E., & Anderson, M. C. (2015). Adaptive top-down suppression of hippocampal activity and the purging of intrusive memories from consciousness. *Journal of Cognitive Neuroscience, 27*(1), 96–111.

Benoit, R. G., Paulus, P. C., & Schacter, D. L. (2019). Forming attitudes via neural activity supporting affective episodic simulations. *Nature Communications, 10*(1), 2215.

Bergström, Z. M., de Fockert, J. W., & Richardson-Klavehn, A. (2009). ERP and behavioural evidence for direct suppression of unwanted memories. *Neuroimage, 48*(4), 726–737.

Blaney, P. H. (1986). Affect and memory: A review. *Psychological Bulletin, 99*(2), 229-246.

Boeke, E. A., Moscarello, J. M., LeDoux, J. E., Phelps, E. A., & Hartley, C. A. (2017). Active avoidance: Neural mechanisms and attenuation of pavlovian conditioned responding. *Journal of Neuroscience, 37*(18), 4808–4818.

Brewin, C. R. (2011). The nature and significance of memory disturbance in posttraumatic stress disorder. *Annual Review of Clinical Psychology, 7*, 203–227. doi:10.1146/annurev-clinpsy-032210-104544

Brisbon, N. M., & Lachman, M. E. (2017). Dispositional mindfulness and memory problems: The role of perceived stress and sleep quality. *Mindfulness, 8*(2), 379–386.

Butler, A. J., & James, K. H. (2010). The neural correlates of attempting to suppress negative versus neutral memories. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience, 10*(2), 182–194.

Canli, T., Zhao, Z., Desmond, J. E., Kang, E., Gross, J., & Gabrieli, J. D. (2001). An fMRI study of personality influences on brain reactivity to emotional stimuli. *Behavioral Neuroscience, 115*(1), 33–42.

Catarino, A., Küpper, C. S., Werner-Seidler, A., Dalgleish, T., & Anderson, M. C. (2015). Failing to forget: Inhibitory-control deficits compromise memory suppression in posttraumatic stress disorder. *Psychological Science, 26*(5), 604–616.

Chen, C., Liu, C., Huang, R., Cheng, D., Wu, H., Xu, P., ... Luo, Y. J. (2012). Suppression of aversive memories associates with changes in early and late stages of neurocognitive processing. *Neuropsychologia, 50*(12),

2839–2848.

Cheung, J., Garber, B., & Bryant, R. A. (2015). The role of stress during memory reactivation on intrusive memories. *Neurobiology of Learning & Memory, 123*, 28–34.

Crawley, R. (2015). Trait mindfulness and autobiographical memory specificity. *Cognitive Processing, 16*(1), 79–86.

Davidson, P., Hellerstedt, R., Jönsson, P., & Johansson, M. (2019). Suppression-induced forgetting diminishes following a delay of either sleep or wake. *Journal of Cognitive Psychology, 32*(1), 4–26.

Depue, B. E., Banich, M. T., & Curran, T. (2006). Suppression of emotional and nonemotional content in memory: Effects of repetition on cognitive control. *Psychological Science, 17*(5), 441–447.

Depue, B. E., Curran, T., & Banich, M. T. (2007). Prefrontal regions orchestrate suppression of emotional memories via a two-phase process. *Science, 317*(5835), 215–219.

Depue, B. E., Ketz, N., Mollison, M. V., Nyhus, E., & Curran, T. (2013). ERPs and neural oscillations during volitional suppression of memory retrieval. *Journal of Cognitive Neuroscience, 25*(10), 1624–1633.

Depue, B. E., Orr, J. M., Smolker, H. R., Naaz, F., & Banich, M. T. (2016). The organization of right prefrontal networks reveals common mechanisms of inhibitory regulation across cognitive, emotional, and motor processes. *Cerebral Cortex, 26*, 1634–1646.

Detre, G. J., Natarajan, A., Gershman, S. J., & Norman, K. A. (2013). Moderate levels of activation lead to forgetting in the think/no-think paradigm. *Neuropsychologia, 51*(12), 2371–2388.

Dieler, A. C., Plichta, M. M., Dresler, T., & Fallgatter, A. J. (2010). Suppression of emotional words in the think/no-think paradigm investigated with functional near-infrared spectroscopy. *International Journal of Psychophysiology, 78*(2), 129–135.

Draganski, B., Kherif, F., & Lutti, A. (2014). Computational anatomy for studying use-dependant brain plasticity. *Frontiers in Human Neuroscience, 8*, 380.

Drysdale, A. T., Grosenick, L., Downar, J., Dunlop, K., Mansouri, F., Meng, Y., ... Liston, C. (2017). Resting-state connectivity biomarkers define neurophysiological subtypes of depression. *Nature Medicine, 23*(1), 28–38.

Ehlers, A. (2010). Understanding and treating unwanted trauma memories in posttraumatic stress disorder. *Zeitschrift Fur Psychologie, 218*(2), 141–145.

Falconer, E., Allen, A., Felmingham, K. L., Williams, L. M., & Bryant, R. A. (2013). Inhibitory neural activity predicts response to cognitive-behavioral therapy for posttraumatic stress disorder. *Journal of Clinical Psychiatry, 74*(9), 895–901.

Fani, N., Jovanovic, T., Ely, T. D., Bradley, B., Gutman, D., Tone, E. B., & Ressler, K. J. (2012). Neural correlates of attention bias to threat in post-traumatic stress disorder. *Biological Psychology, 90*(2), 134–142.

Fawcett, J. M., Benoit, R. G., Gagnepain, P., Salman, A., Bartholdy, S., Bradley, C., ... Anderson, M. C. (2015). The origins of repetitive thought in rumination: Separating cognitive style from deficits in inhibitory control over memory. *Journal of Behavior Therapy & Experimental Psychiatry, 47*, 1–8.

Gagnepain, P., Henson, R. N., & Anderson, M. C. (2014). Suppressing unwanted memories reduces their unconscious influence via targeted cortical inhibition. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 111*(13), E1310–E1319.

Gagnepain, P., Hulbert, J., & Anderson, M. C. (2017). Parallel regulation of memory and emotion supports the suppression of intrusive memories. *Journal of Neuroscience, 37*(27), 6423–6441.

Gamboa, O. L., Garcia-Campayo, J., Müller, T., & von Wegner, F. (2019). Suppress to forget: The effect of a mindfulness-based strategy during an emotional item-directed forgetting paradigm. *Frontiers in Psychology, 8*, 432.

Geraerts, E., Merckelbach, H., Jelicic, M., & Smeets, E. (2006). Long term consequences of suppression of intrusive anxious thoughts and repressive coping. *Behaviour Research and Therapy, 44*(10), 1451–1460.

Haghighi, S. S., Ghorbani, M., Dehnavi, F., Safaie, M., & Moghimi, S. (2020). Motivated forgetting increases the recall time of learnt items: Behavioral and event related potential evidence. *Brain Research, 1729*, 146624.

Harvey, P. O., Fossati, P., Pochon, J. B., Levy, R., Lebastard, G., Lehéricy, S., ... Dubois, B. (2005). Cognitive control and brain resources in major depression: An fMRI study using the n-back task. *Neuroimage, 26*(3), 860–869.

Hayes, J. P., Vanelzakker, M. B., & Shin, L. M. (2012). Emotion and cognition interactions in PTSD: A review of neurocognitive and neuroimaging studies. *Frontiers in Integrative Neuroscience, 6*, 89.

Hertel, P. T., Large, D., Stuck, E. D., & Levy, A. (2012). Suppression-induced forgetting on a free-association test. *Memory, 20*(2), 100–109.

Hertel, P. T., & Mahan, A. (2008). Depression-related differences in learning and forgetting responses to unrelated cues. *Acta Psychologica, 127*(3), 636–644.

Hulbert, J. C., & Anderson, M. C. (2018). What doesn't kill you makes you stronger: Psychological trauma and its relationship to enhanced memory control. *Journal of Experimental Psychology: General, 147*(12), 1931–1949.

Hulbert, J. C., Henson, R. N., & Anderson, M. C. (2016). Inducing amnesia through systemic suppression. *Nature Communications, 7*, 11003.

Jin, J., & Maren, S. (2015). Prefrontal-hippocampal interactions in memory and emotion. *Frontiers in Systems Neuroscience, 9*, 170.

Joormann, J., Hertel, P. T., Brozovich, F., & Gotlib, I. H. (2005). Remembering the good, forgetting the bad: Intentional forgetting of emotional material in depression. *Journal of Abnormal Psychology, 114*(4), 640–648.

Joormann, J., Hertel, P. T., LeMoult, J., & Gotlib, I. H. (2009). Training forgetting of negative material in depression. *Journal of Abnormal Psychology, 118*(1), 34–43.

Kaczkurkin, A. N., Burton, P. C., Chazin, S. M., Manbeck, A. B., Espensen-Sturges, T., Cooper, S. E., ... Lissek, S. (2017). Neural substrates of overgeneralized conditioned fear in PTSD. *American Journal of Psychiatry, 174*(2), 125–134.

Kar, N. (2011). Cognitive behavioral therapy for the treatment of post-traumatic stress disorder: A review. *Neuropsychiatric Disease & Treatment, 7*(1), 167–181.

Küpper, C. S., Benoit, R. G., Dalgleish, T., & Anderson, M. C. (2014). Direct suppression as a mechanism for controlling unpleasant memories in daily life. *Journal of Experimental Psychology General, 143*(4), 1443–1449.

Lambert, A. J., Good, K. S., & Kirk, I. J. (2010). Testing the repression hypothesis: Effects of emotional valence on memory suppression in the think-no think task. *Consciousness and Cognition, 19*(1), 281–293.

Lanius, R. A., Vermetten, E., Loewenstein, R. J., Brand, B., Schmahl, C., Bremner, J. D., & Spiegel, D. (2010). Emotion modulation in PTSD: Clinical and neurobiological evidence for a dissociative subtype. *American Journal of Psychiatry, 167*(6), 640–647.

Lawrence, N. S., O'Sullivan, J., Parslow, D., Javaid, M., Adams, R. C., Chambers, C. D., ... Verbruggen, F. (2015). Training response inhibition to food is associated with weight loss and reduced energy intake. *Appetite, 95*, 17–28.

Legrand, N., Etard., O., Vandevelde, A., Pierre, M., Viader, F., Clochon, P., ... Gagnepain, P. (2019). Does the heart forget? Modulation of cardiac activity induced by inhibitory control over emotional memories. *Scientific Reports, 83*.

LeMoult, J., Hertel, P. T., & Joormann, J. (2010). Training the forgetting of negative words: The role of direct suppression and the relation to stress reactivity. *Applied Cognitive Psychology, 24*(3), 365–375.

Levy, B. J., & Anderson, M. C. (2008). Individual differences in the suppression of unwanted memories: The executive deficit hypothesis. *Acta Psychologica, 127*(3), 623–635.

Liu, Y., Lin, W., Liu, C., Luo, Y., Wu, J., Bayley, P. J., & Qin, S. (2016). Memory consolidation reconfigures neural pathways involved in the suppression of emotional memories. *Nature Communications, 7*, 13375.

López-Caneda, E., Crego, A., Campos, A. D., González-Villar, A., & Sampaio, A. (2019). The think/no-think alcohol task: A new paradigm for assessing memory suppression in alcohol-related contexts. *Alcoholism Clinical and Experimental Research, 43*(1), 36–47.

Lyoo, I. K., Kim, J. E., Yoon, S. J., Hwang, J., Bae, S., & Kim, D. J. (2011). The neurobiological role of the dorsolateral prefrontal cortex in recovery from trauma. Longitudinal brain imaging study among survivors of the South Korean subway disaster. *Archives of General Psychiatry, 68*(7), 701–713.

Magee, J. C., Harden, K. P., & Teachman, B. A. (2012). Psychopathology and thought suppression: A quantitative review. *Clinical Psychology Review, 32*(3), 189-201.

Mary, A., Dayan, J., Leone, G., Postel, C., Fraisse, F., Malle, C., ... Gagnepain, P. (2020). Resilience after trauma: The role of memory suppression. *Science, 367*(6479), eaay8477.

Marzi, T., Regina, A., & Righi, S. (2014). Emotions shape memory suppression in trait anxiety. *Frontiers in Psychology, 4*, 1001.

May, A. (2011). Experience-dependent structural plasticity in the adult human brain. *Trends in Cognitive Sciences, 15*(10), 475–482.

Molet, M., Kosinski, T., Craddock, P., Miguez, G., Mash, L. E., & Miller, R. R. (2016). Attenuating social affective learning effects with memory suppression manipulations. *Acta Psychologica, 164*, 136–143.

Murray, B. D., Anderson, M. C., & Kensinger, E. A. (2015). Older adults can suppress unwanted memories when given an appropriate strategy. *Psychology and Aging, 30*(1), 9–25.

Namgung, E., Kim, M., & Yoon, S. (2019). Repetitive transcranial magnetic stimulation in trauma-related conditions. *Neuropsychiatric Disease and Treatment, 15*, 701–712.

Nolen-Hoeksema, S., Wisco, B. E., & Lyubomirsky, S. (2008). Rethinking rumination. *Perspectives on Psychological Science, 3*(5), 400–424.

Paz-Alonso, P. M., Bunge, S. A., Anderson, M. C., & Ghetti, S. (2013). Strength of coupling within a mnemonic control network differentiates those who can and cannot suppress memory retrieval. *Journal of Neuroscience, 33*(11), 5017–5026.

Pitman, R. K., Rasmusson, A. M., Koenen, K. C., Shin, L. M., Orr, S. P., Gilbertson, M. W., ... Liberzon, I. (2012). Biological studies of post-traumatic stress disorder. *Nature Reviews Neuroscience, 13*(11), 769–787.

Preusser, F., Margraf, J., & Zlomuzica, A. (2017). Generalization of extinguished fear to untreated fear stimuli after exposure. *Neuropsychopharmacology, 42*(13), 2545–2552.

Ritchey, M., Wang, S. F., Yonelinas, A. P., & Ranganath, C. (2019). Dissociable medial temporal pathways for encoding emotional item and context information. *Neuropsychologia, 124*, 66–78.

Sacchet, M. D., Levy, B. J., Hamilton, J. P., Maksimovskiy, A., Hertel, P. T., Joormann, J., ... Gotlib, I. H. (2017). Cognitive and neural consequences of memory suppression in major depressive disorder. *Cognitive Affective & Behavioral Neuroscience, 17*(1), 77–93.

Seery, M. D., Holman, E. A., & Silver, R. C. (2010). Whatever does not kill us: Cumulative lifetime adversity, vulnerability, and resilience. *Journal of Personality and Social Psychology, 99*(6), 1025–1041.

Shipherd, J. C., & Beck, J. G. (2005). The role of thought suppression in posttraumatic stress disorder. *Behavior Therapy, 36*(3), 277–287.

Storbeck, J. (2013). Negative affect promotes encoding of and memory for details at the expense of the gist: Affect, encoding, and false memories. *Cognition and Emotion, 27*(5), 800–819.

Streb, M., Mecklinger, A., Anderson, M. C., Lass-Hennemann, J., & Michael, T. (2016). Memory control ability modulates intrusive memories after analogue trauma. *Journal of Affective Disorders, 192*, 134–142.

Sullivan, D. R., Marx, B., Chen, M. S., Depue, B. E., Hayes, S. M., & Hayes, J. P. (2019). Behavioral and neural correlates of memory suppression in PTSD. *Journal of Psychiatric Research, 112*, 30–37.

Tateishi, H., Nishihara, M., Kawaguchi, A., Matsushima, J., Murakawa, T., Haraguchi, Y., ... Monji, A. (2019). Improvement of frontal lobe dysfunction and white matter integrity by rTMS in treatment-resistant depression. *Neuropsychiatric Disease and Treatment, 15*, 3079–3087.

Taubenfeld, A., Anderson, M. C., & Levy, D. A. (2019). The impact of retrieval suppression on conceptual implicit memory. *Memory, 27*(5), 686–697.

Terpou, B. A., Densmore, M., Thome, J., Frewen, P., McKinnon, M. C., & Lanius, R. A. (2019). The innate alarm system and subliminal threat presentation in posttraumatic stress disorder: Neuroimaging of the midbrain and cerebellum. *Chronic Stress, 3*, https://doi.org/10.1177/2470547018821496

van Huijstee, J., & Vermetten, E. (2018). The dissociative subtype of post-traumatic stress disorder: Research update on clinical and neurobiological features. *Current Topics in Behavioral Neurosciences, 38*, 229–248.

van Rooij, S. J. H., & Jovanovic, T. (2019). Impaired inhibition as an intermediate phenotype for PTSD risk and treatment response. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry, 89*, 435-445.

van Schie, K., & Anderson, M. C. (2017). Successfully controlling intrusive memories is harder when control must be sustained. *Memory, 25*(9), 1201–1216.

Wang, Y., Luppi, A., Fawcett, J., & Anderson, M. C. (2019). Reconsidering unconscious persistence: Suppressing unwanted memories reduces their indirect expression in later thoughts. *Cognition, 187*, 78–94.

Weiss, A. R., Gillies, M. J., Philiastides, M. G., Apps, M. A., Whittington, M. A., FitzGerald, J. J., ... Green, A. L. (2018). Dorsal anterior cingulate cortices differentially lateralize prediction errors and outcome valence in a decision-making task. *Frontiers in Human Neuroscience, 12*, 203.

Wessel, I., & Merckelbach, H. (2006). Forgetting “murder” is not harder than forgetting “circle”: Listwise-directed forgetting of emotional words. *Cognition and Emotion, 20*(1), 129–137.

Wimber, M., Alink, A., Charest, I., Kriegeskorte, N., & Anderson, M. C. (2015). Retrieval induces adaptive forgetting of competing memories via cortical pattern suppression. *Nature Neuroscience, 18*(4), 582–589.

Wong, Q. J., & Moulds, M. L. (2011). Impact of anticipatory processing versus distraction on multiple indices of anxiety in socially anxious individuals. *Behaviour Research and Therapy, 49*(10), 700-706.

Zandvakili, A., Barredo, J., Swearingen, H. R., Aiken, E. M., Berlow, Y. A., Greenberg, B. D., ... Philip, N. S. (2020). Mapping PTSD symptoms to brain networks: A machine learning study. *Translational Psychiatry, 10*(1), 195.

Zhang, D., Xie, H., Liu, Y., & Luo, Y. (2016). Neural correlates underlying impaired memory facilitation and suppression of negative material in depression. *Scientific Reports, 6*(1), 37556.

Zwissler, B., Hauswald, A., Koessler, S., Ertl, V., Pfeiffer, A., Wöhrmann, C., ... Kissler, J. (2012). Memory control in post-traumatic stress disorder: Evidence from item method directed forgetting in civil war victims in Northern Uganda. *Psychological Medicine, 42*(6), 1283–1291.

Neural mechanisms of suppression-induced forgetting

GUAN Xuxu, WANG Hongbo

(*Institute of Cognition, Brain and Health, Henan University, Kaifeng* 475004, *China*)

(*Institute of Psychology and Behavior, Henan University, Kaifeng* 475004, *China)*

(*School of Educational Science, Henan University, Kaifeng* 475004, *China*)

Abstract: When confronted with reminders of an unpleasant memory, people often try to prevent the unwanted memory from coming to mind. Suppression-induced forgetting (SIF) means that the attempt to prevent unwanted memories from entering awareness results in a decrease in the long-term accessibility of these memories. Previous studies indicated that the suppression of retrieval is accomplished by control mechanisms that inhibit unwanted memories. Suppressing retrieval increased engagement of the right dorsolateral prefrontal cortex and middle frontal gyrus and concomitantly decreased engagement of the hippocampus. The degree of SIF is affected by the emotionality of information and an individual's emotional state and training. Future studies should investigate ways to improve the therapeutic effects of SIF on clinical pathological memory based on an in-depth understanding of the neural mechanisms of SIF.

Key words: suppression-induced forgetting, emotional valence, emotional state, training